

## Reverzní inženýrství v důlní praxi

Ing. Tomáš Kubín<sup>1</sup>, Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.<sup>1</sup>, Ing. Jan Blata<sup>1</sup>, Ing. Vlastimil Moni<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VŠB – technická univerzita Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování, Ostrava - Poruba, tomas.kubin@vsb.cz

<sup>2</sup>Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, moni@vuhu.cz

Přijato: 29. 7. 2011, recenzováno: 8. 8. a 16. 9. 2011

### Abstrakt

Na mechanizované výzvuži GLINK 06/15 POZS dochází k poškozování rohových válců. Pro objasnění příčin poruch byla použita jedna z metod reverzního inženýrství – 3D skenování a následný převod dat do CAD modelu. Pro snímání výzvuže bylo použito zařízení „HandyScan - EXAscan“ zapůjčené firmou SolidVision, s.r.o. Data byla zpracována v softwaru „Geomagic Studio 12“. Výsledkem bylo odhalení kolize rohového válce a závalového štítu.

### Reverse engineering in practise

Angular cylinders are often damaged on the GLINK 06/15 POZS mechanical reinforcement. One of reverse engineering methods – 3D scanning and subsequent transmission of the data to CAD model was used in order to establish the cause of the damage. The reinforcement was scanned by „HandyScan – EXAscan“ device, which was provided by the SolidVision company. The data were processed using „Geomagic Studio 12“ software. As a result, a collision between the angular cylinder and reinforcement shield has been detected.

### Reverse Engineering im Praxis

Auf dem mechanisierten Grubenausbau GLINK 06/15 POZS kommt zu Beschädigungen der Eckwalzen. Um die Ursachen dieser Störungen zu erklären, wurde eine der Methoden der reversen Engineering – 3D Scannen und anschließendes Datenübertragen in CAD Modell - eingesetzt. Der Ausbau wurde mit der Anlage „HandyScan - EXAscan“ abgetastet, die von der Firma SolidVision, s.r.o. verliehen wurde. Die Daten wurden in Softwar „Geomagic Studio 12“ bearbeitet. Im Ergebnis wurde Kollision der Eckwalze und des Bruchschildes entdeckt.

**Klíčová slova:** Glinik, HandyScan, mechanizovaná výzvuž.

**Keywords:** Glinik, HandyScan, mechanical reinforcement.

### 1 Úvod

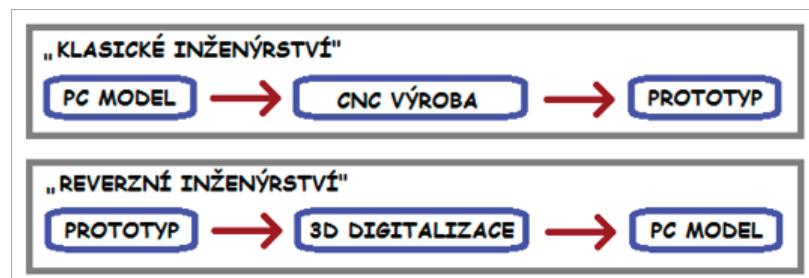
Rychlý vývoj v inovačních technologiích přináší řadu nových možností. Zároveň nás nutí měnit a přizpůsobovat zařízené postupy. Doba, kdy vznikaly výkresy na „prknech“ a pero naplněné tuží zlepšující život konstruktérů, je pryč. Při pohledu zpět se jedná jen o rozdíl jedné generace. A kde jsme tedy dnes? Držet krok s nejnovějšími trendy je náročné. Prkna a pera nahradily počítače a tiskárny, 2D prostor bere pomalu za své a běžnou praxí je práce ve třech dimenzích. Výstupem jsou data, ale chceme-li mít něco hmatatelného, vytiskneme si na 3D tiskárně model (*Rapid Prototyping*). Tím to samozřejmě nekončí, protože vývoj jede dál. Zásluhu na nových inženýrských postupech má právě dynamický vývoj a potřeby dnešní doby.

Cílem tohoto článku je na přímé aplikaci představit nové možnosti, které dnešní technika nabízí. Ne náhodou je vybrán příklad z dost konzervativního důlního prostředí.

### 2 Reverzní inženýrství

Konstrukční postupy, které byly uvedeny, můžeme zařadit do kategorie klasického inženýrství. Často se však setkáváme s pojmem „reverzní inženýrství“ nebo také proces „reverse engineering“. Názorný rozdíl je vidět na obrázku č. 1. Jedná se o proces, jehož prostřednictvím je možné digitalizovat prostorové objekty a následně je zpracovávat. Reverzní inženýrství se v oblasti návrhu nesnaží změnit a nahradit doposud používanou majoritní inženýrskou metodiku, ale nabízí nové možnosti. Jeho využití je přínosné mimo jiné i v těchto oblastech:

- návrh tvarově náročných strojních součástí,
- kontrolní a revizní činnost,
- opravy a rekonstrukce,
- digitalizace vzorů a šablon,
- diagnostika,
- optimalizace,
- archivace.



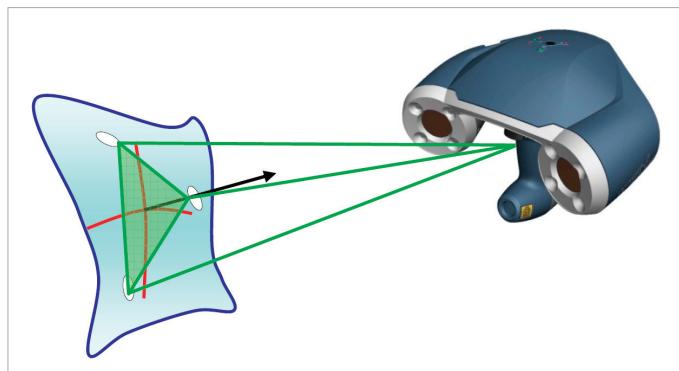
Obr. 1: Porovnání klasického a reverzního inženýrství.

### 3 Prostorové skenery

Nebyla zde ještě zmíněna nejdůležitější součást, bez které by popsané postupy nebyly realizovatelné. Při přechodu z reálného modelu na PC model využívá reverzní inženýrství převážně prostorových skenerů. Pro digitalizaci lze dnes využít široký sortiment skenovacích technologií. Tyto technologie můžeme rozdělit následovně:

- dotykové,
  - optické,
  - laserové,
  - destruktivní,
  - rentgenové,
  - ultrazvukové.

V následující aplikaci byl použit laserový skener. Konkrétně se jednalo o výrobek kanadské firmy Creaform, skener Handyscan-EXAscan (obrázek č. 2). Stejně jako většina laserových skenerů i tento pracuje na principu opticky aktivní triangulace. Zjednodušeně řečeno, na povrch snímané plochy je prominut laserový kříž, který je snímán pomocí dvou kamer. Měří se tak vzdálenost jednotlivých bodů plochy (osvětlené křížem) od skeneru. Aktuální poloha skeneru vůči ploše je určována pomocí referenčních značek (obrázek č. 2). Pro určení polohy je zapotřebí, aby skener snímal minimálně tři referenční značky. Hlavní parametry skeneru použitého pro následující aplikaci jsou shrnuty v tabulce č. 1. EXAscan je osazen ještě třetí kamerou pro přesné snímání, ale tu nebylo potřeba, vzhledem k charakteru práce, využít.



Obr. 2: Princip triangulace optického skeneru. [2]

## 4 Kontrola mechanizované výzvuže

Počátkem roku 2005 byl na závod Staříč Dolu Paskov OKD, a.s., zakoupen nový dobývací komplex pro nízké sloje. Jedná se o komplex, který byl složen z výrobků několika firem a je schopen těžit sloje v rozsahu mocnosti pouhých  $0,75 \div 1,5$  metrů. Základ tvoří pluhové zařízení s porubovým dopravníkem dodaným německou firmou DBT a mechanizovaná výztuž od polského výrobce důlní techniky - GLINKI. Na obrázku č. 3 je sekce komplexu s pluhem.

Od počátečního nasazení se začala u mechanizované výzvuže objevovat porucha u rohových válců, viz obrázek č. 3, pozice 2. Konkrétně se jednalo o kolize válce se závalovým štítem a vytrhávání pístu z tělesa válce. Reklamace závady nebyla úspěšná s odůvodněním nesprávného provozování výz-

Tab. 1: Parametry použitého skeneru.

HandyScan - EXAscan		
Třída laseru	2	[‐]
Počet měření	18 000	[snímků/s]
Rozlišení v ose Z	0,05	[mm]
Přesnost	0,04	[mm]
ISO	0,02+0,1/m	[mm]
Hmotnost	1,25	[kg]
Rozměry	172 x 260 x 216	[mm]

tuže. Dokážat výrobci, že je chyba v konstrukci, nebylo v té době možné.

## 5 Popis závad

Při zkoumání příčin poškození válců bylo prohlédnuto a zaznamenáno 59 kusů poškozených rohových válců. Skutečný počet poškozených válců je mnohem vyšší. Jen za první dva roky provozu přesáhl 80 kusů. Při zkoumání poškození byly rohové válce rozděleny do tří skupin podle typu poškození.

Do první skupiny byly zařazeny válce, které nemají na povrchu znatelná poškození, viz obrázek č. 4. Zejména se jedná o oko tělesa válce, které není deformované, a samotné tělo válce, na němž není charakteristické otlacení od kolize se závalovým štítem. Pro tuto skupinu je charakteristické, že k poškození došlo vytržením ucprávky (vytržení pístu z tělesa válce) bez vnějších znaků kolize. Výskyt tohoto typu poškození tvořil 20 %. Na obrázku č. 4 je jeden válec ve dvou pohledech.

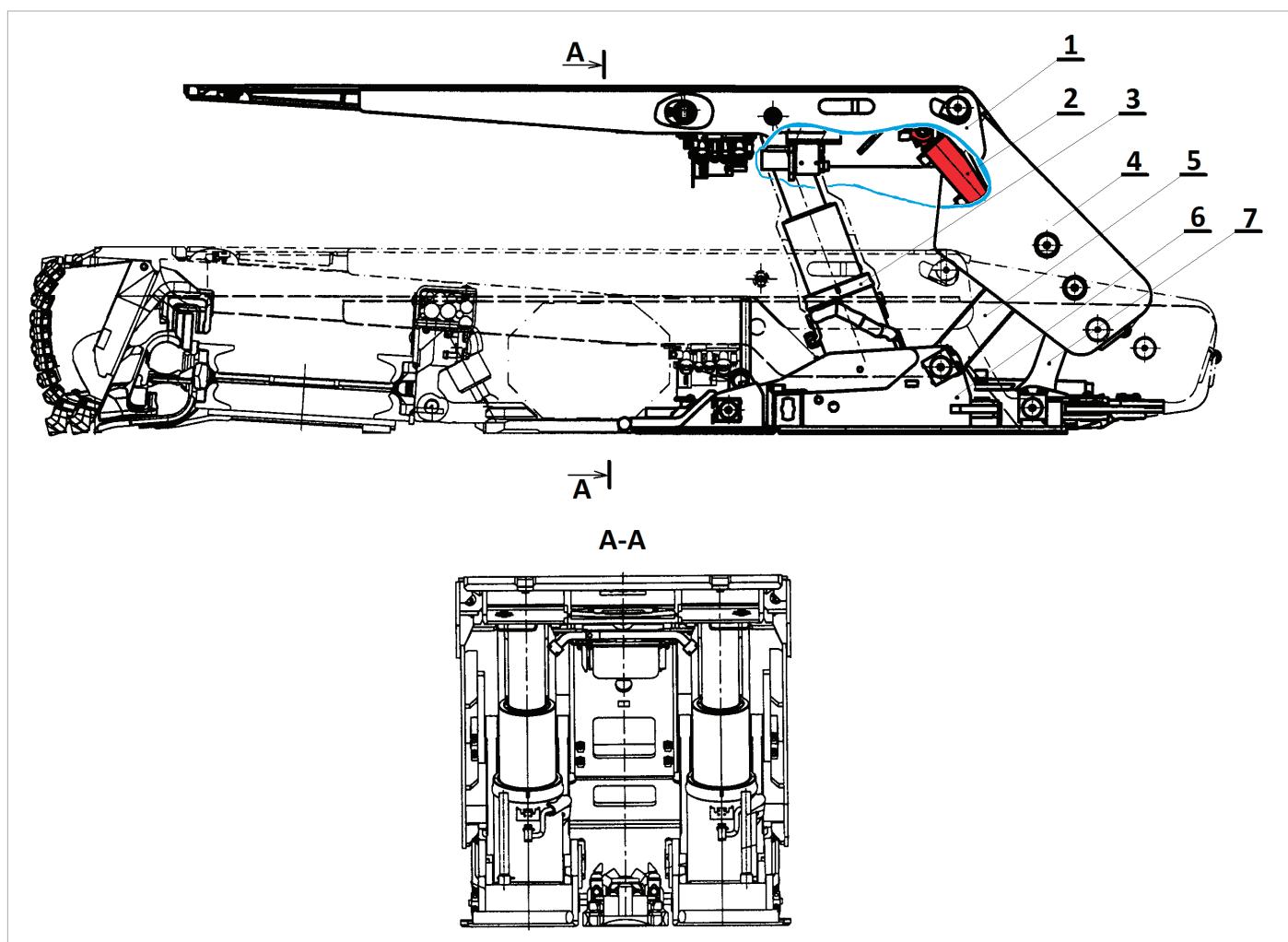
Do druhé skupiny byly zařazeny válce, které měly zdefor-  
mované oko tělesa válce. Oproti válcům z první skupiny je již na  
každém výrazná stopa po kontaktu s jinou částí výzvou. Výskyt  
tohoto typu poškození tvořil 61 %. Příklad poškození je znázor-  
něn na obrázku č. 5.

Poslední skupina poškozených rohových válců je charakteristická zcela oddeleným (odlomeným) dnem tělesa válce. Na oku tělesa válce lze pozorovat značnou deformaci po předešlém ohybu. Také na vnějším povrchu je patrný výrazný provětrávání kolize s jinou částí mechanizované výzvědu. Zvláštností pro tuto skupinu bylo to, že nedošlo k vytržení pístu. Výskyt tohoto typu poškození tvořil 19 %. Na obrázku č. 6 je znázorněn jeden válec s charakteristickým poškozením, typickým pro tuto skupinu (včetně odlomeného oka).

## 6 Rozbor možných příčin

Způsob, jakým byly válce poškozeny, naznačuje tyto možné příčiny:

1. Konstrukční závada – je možná dvojí. První možností je, že byl rohový válec konstrukčně navržen jako příliš krátký (krátký chod válce). Tím by se vysvětlilo vytrhávání pístu z tělesa válce. Druhá možnost ukazuje na kolizi rohového válce a stropnice, respektive závalového štitu. Tato možnost by zapříčinila třetí typ poškození.
  2. Chybné provozování výzvuže – je varianta, která je teoreticky možná v případě, že byla výzvuž nesprávně smontována v dole. Z technické dokumentace plyne ještě jedna příčina,



Obr. 3: Princip základní části výztuže Glinik 06/15-POzS. [1]

1 – stropnice, 2 – rohový válec, 3 – hydraulická stojka, 4 – závalový štit, 5 – přední táhlo, 6 – základový rám (pata), 7 – zadní táhlo.

a tou je nedodržování minimálního předepsaného úhlu mezi stropnicí a štítem.

Provozovatel dobývacího komplexu vyloučuje chybné provozování výztuže. Oproti tomu výrobce vyloučil konstrukční závady. Pro vyloučení konstrukční chyby by bylo zapotřebí výkresové dokumentace. K dispozici byla bohužel dodána pouze nedostačující technicko-provozní dokumentace.

## 7 Provedené testy

Na prokázání kolizních stavů, a tím i chyby v konstrukci, bylo použito kinematického testu. Test byl prováděn na povrchu dolu Paskov. K jednoznačnému prokázání kolizí sice nedošlo, ale tím tato možnost vyloučena nebyla, protože chování nezatížené výztuže je odlišné oproti chování v důlních podmínkách. Testování v dole není možné (výbušné prostředí a stísněné podmínky).

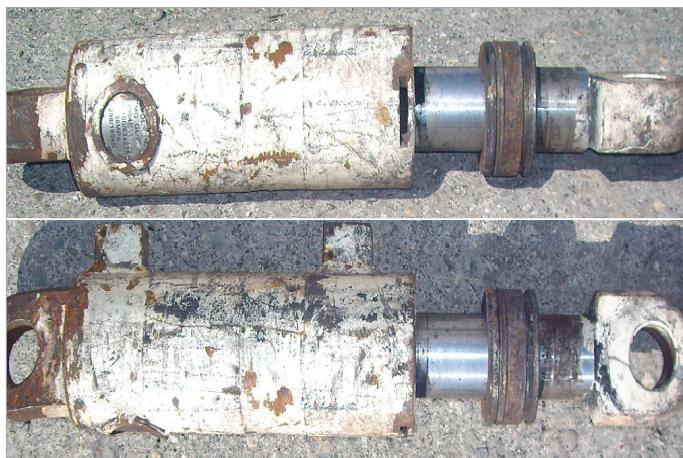
Jeden z povrchových testů se zaměřil i na argument výrobce, že při provozu není dodržován minimální předepsaný úhel mezi stropnicí a závalovým štítem. Jedná se o úhel 5 stupňů. Tak malého úhlu nebylo v žádné z realizovaných poloh dosaženo.

Hranici 5 stupňů se výztuž přiblížila pouze ve složeném a tudíž nepracovním stavu (méně než 0,6 metru).

Dle dodané technicko-provozní dokumentace bylo zkontrolováno správné smontování. V rámci této kontroly byla navržena změna v montáži rohového válce. Jednalo se o otočení válce. Oko pístnice bylo uloženo místo oka pístu a naopak. Na takto



Obr. 4: Příklad válce z prvního typu poškození.



Obr. 5: Příklad válce z druhého typu poškození.



Obr. 6: Příklad válce z třetího typu poškození.

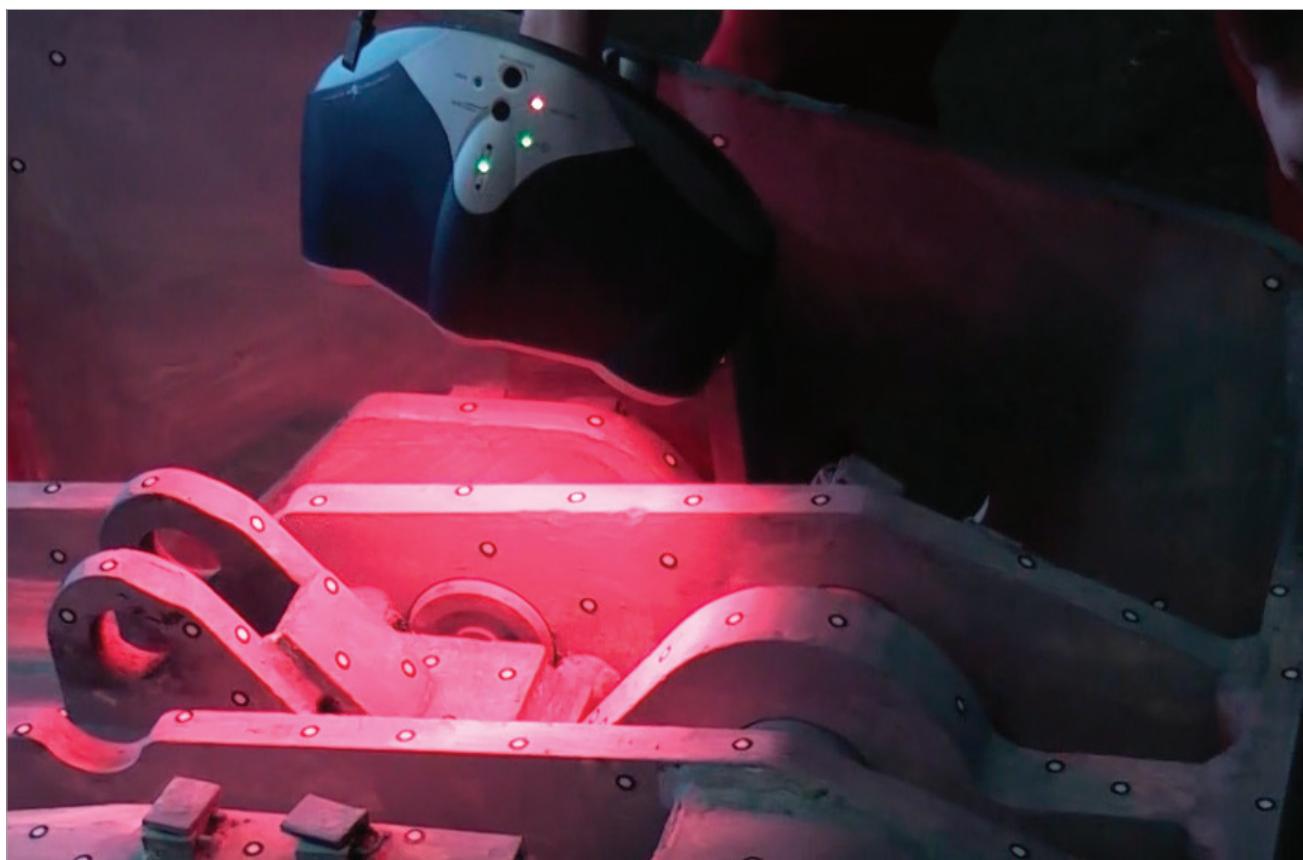
upravených výztužích přesto docházelo k vytrhávání válců. Pozitivní vliv tato změna měla pouze na kolizi tělesa válce se závalovým štítem – ke kolizi již docházet nemohlo.

## 8 Aplikace reverzního inženýrství

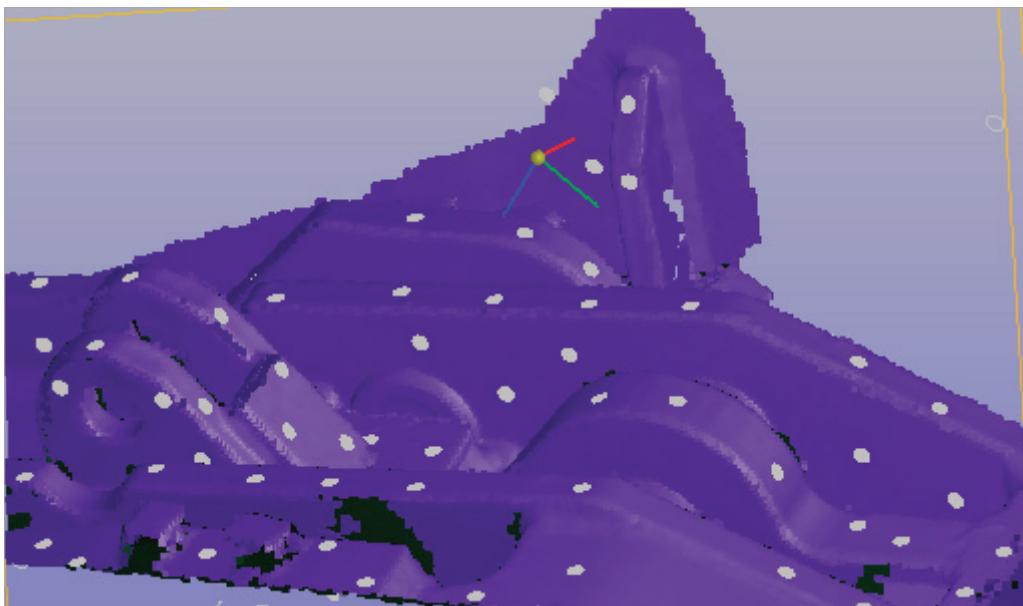
Jak už bylo uvedeno, výrobní dokumentace nebo CAD model problematického uzlu výztuže nebyl k dispozici. Pro ověření kinematiky bylo proto nutno hledat jinou možnost. Varianta manuálního měření a následné vytvoření počítačového modelu nebyla úspěšná. Důvodem byla složitost konstrukce (svařenec z vypalovaných plechů) a špatně přístupné klíčové plochy. Další

možností bylo vytvoření laminátové formy a následně modelu, který by bylo možno v laboratorních podmínkách adekvátně zatěžovat. Tento postup nebyl realizován pro svoji materiální a časovou náročnost.

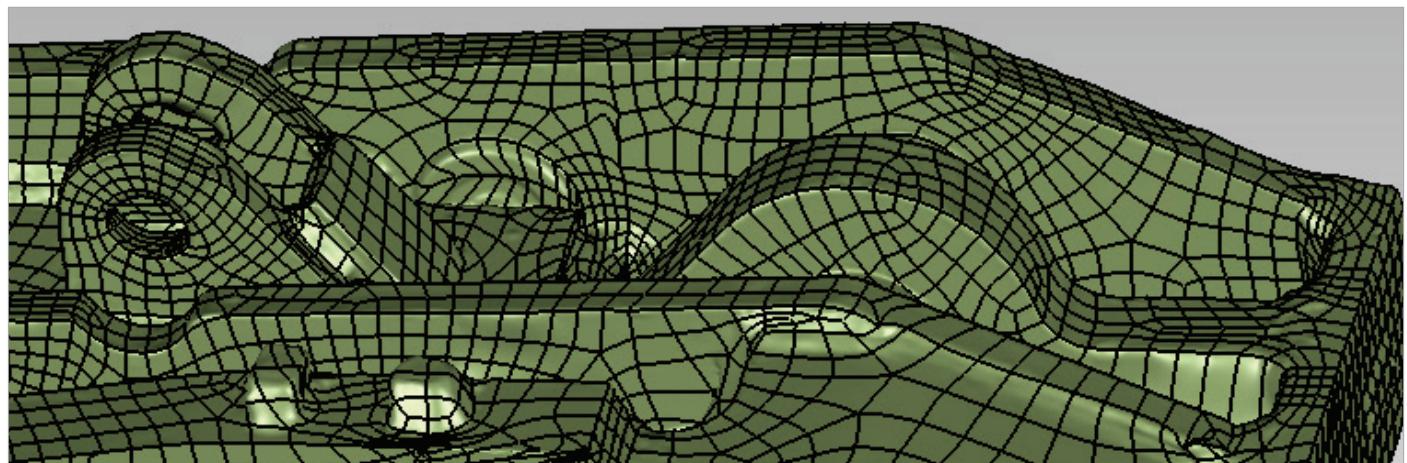
Moderní možnosti metrologie nabízí řadu metod a k tomu příslušné vybavení, aby bylo možno přesně kontrolovat vyrobené součásti. Pro měření výztuže nejlépe vyhovuje zařízení, které je využíváno v reverzním inženýrství. Proto byl pro odhalení příčiny poškozování válců použit 3D skener a aplikace metody reverzního inženýrství. Řešen nebyl pouze kritický uzel, ale celá kinematika výztuže. Pro snímání výztuže bylo použito zařízení



Obr. 7: Skenování závalového štítu EXAscanem. [3]



Obr. 8: Zobrazení polygonové sítě v programu VxScan.



Obr. 9: Polygonová síť v softwaru Geomagic Studio 12.

HandyScan-EXAscan, viz obrázek č. 7, zapůjčené od firmy SolidVision, s.r.o. Jedná se o ruční laserový skener, který umožňuje vzájemný pohyb skeneru a tělesa během snímání.

## 9 Postup měření

Byl zvolen postup – 3D skenování a následný převod dat do CAD modelu. Data o poloze a ploše byla zaznamenávána programem VxScan a zároveň v reálném čase zobrazována na obrazovce, viz obrázek č. 8. Při snímání dochází neustále ke zpřesňování sítě. Vzniklá síť není vždy ideální a je nutné naměřená data dále zpracovat. Pro další práci byl použit program Geomagic Studio 12. Tento software umožňuje načítat nasnímaná data a zpracovávat je. U každého nasnímaného tělesa došlo k zjednodušování sítě, záplatování dér, spojování dílčích sítí, vyhlazování ploch a k vytvoření jednotné skořepiny. Proto, aby bylo možné síť převést na plnoodnodnotné těleso v 3D CAD systému, bylo nutné domodelovat chybějící plochy. Jednalo se zejména o plochy, které jsou pro řešení problematiky nepodstatné nebo o plochy chybějí-

cí z důvodu špatné přístupnosti pro skener. Výsledkem je uzavřená polygonová plocha, viz obrázek č. 9.

Aby bylo možné jednotlivé modely spojovat v CAD prostředí, byly funkční plochy proloženy základními geometrickými prvky (válec, koule). Funkční plochy jsou převážně v uložení čepu. Následný export umožnil přesné vazby mezi jednotlivými prvky výzvuze. Příklad funkčních ploch je znázorněn na obrázku modelu závalového štítu, viz obrázek č. 10.

Poslední fáze řešení spočívala v převodu polygonových ploch na plná tělesa a složení celého mechanizmu výzvuze. Pro zjednodušení nebyla skenována celá výzvuž, ale pouze součásti v oblasti problematického uzlu. Dalším zjednodušením bylo naskenování pouze jedné symetrické poloviny výzvuže. Důvodem byla úspora času, materiálu a hlavně úspora objemu dat, která byla následně zpracovávána. Ze získaných dat byly vytvořeny části stropnice, závalového štítu a základového rámu (paty). Další prvky, jako je hydraulická stojka, rohový válec a obě táhla, bylo nutné vymodelovat podle provozně-technické

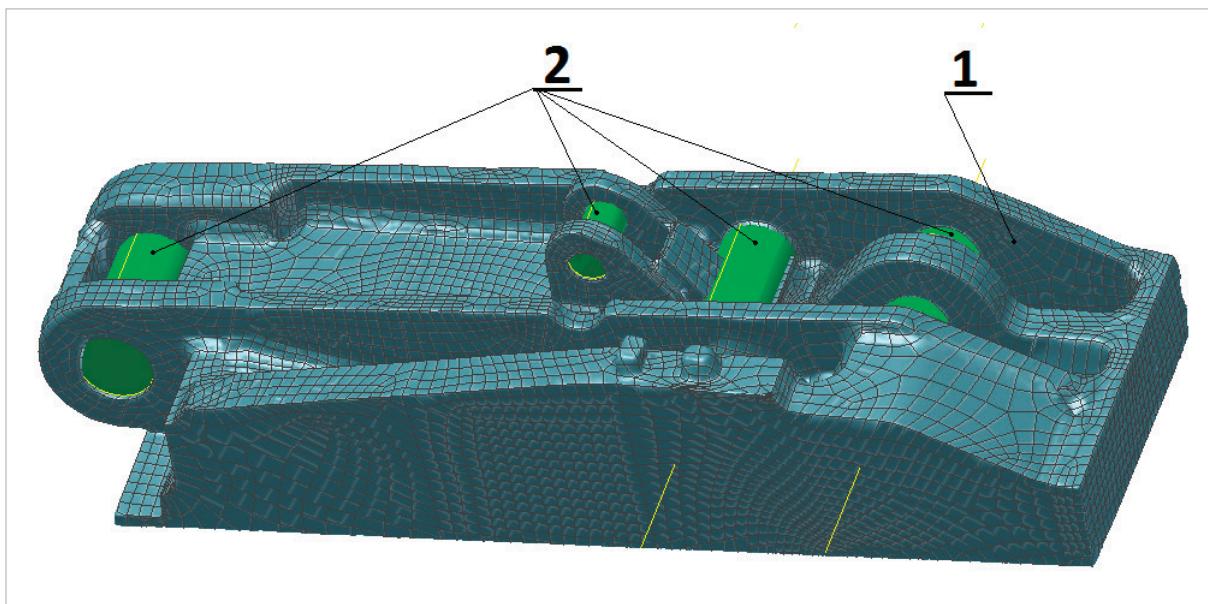
dokumentace. Jsou vytvořeny pouze zjednodušeně, ale tak, aby důležité a funkční rozměry byly zachovány.

Celý sestavený prostorový model je na obrázku č. 11. Mechanismus výztuže se nachází v jedné z krajních poloh, která je omezena možností vysunutí rohového válce. Další vysouvání by vedlo k vylomení ucpávky pístnice. Ještě než by k této destrukci došlo, vznikla by mezi rohovým válcem a závalovým štítem kolize, kterou je možné vidět na detailu obrázku č. 11. Tato kolize odpovídá nalezeným otlakům jak na závalovém štítě, tak

na povrchu rohového válce. Vlivem toho dochází k zaznamenané destrukci patřící do druhé skupiny (obrázek č. 5), popřípadě patřící do třetí skupiny, viz obrázek č. 6.

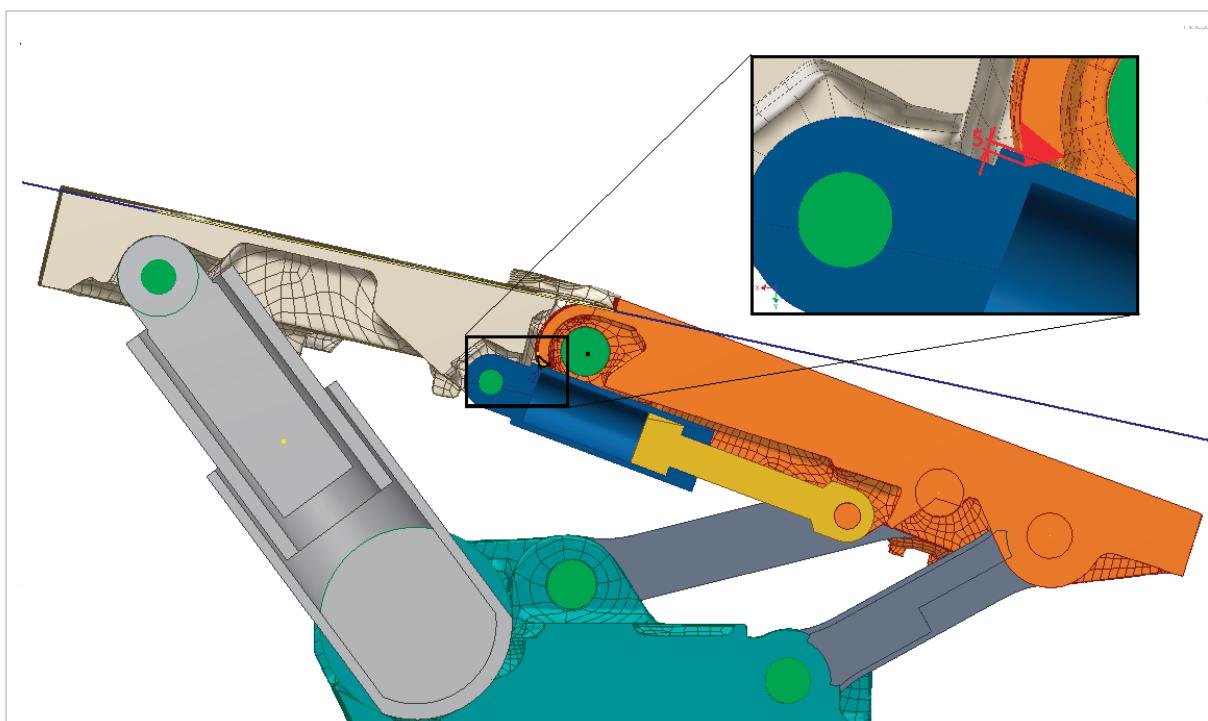
## 10 Závěr

Využití reverzního inženýrství pro objasnění problematiky rohových válců se ukázalo jako velmi vhodné. Metoda prostorového skenování dokázala zaznamenat jednotlivé díly výztuže



Obr. 10: Proložení geometrických prvků. [3]

1 – model závalového štítu, 2 – funkční plochy



Obr. 11: Výsledný CAD model. [3]

s vysokou přesností. Následné zpracování počítačových modelů umožnilo simulovat situace, ve kterých dochází k poškozování rohových válců. Kolize závalového štítu s válcem byla evidentní již při prohlídce výzvaze, ale až pomocí Handyscanu se podařilo upřesnit oblast výskytu. Při reálných kinematických testech nemohlo dojít k odhalení kolize, protože nebylo možné výzvaze do kolizní polohy dostat. Nedovolovala to tuhost a objemnost mechanizmu, který nebylo možno adekvátně zatížit. Řešením by byl test ve speciální laboratoři na důlní techniku a nadefinování konkretní situace.

Rozdílné poškození válců zatím objasněno nebylo. Nalezená kolize by mohla zapříčinit poškození druhého typu, ale vylučuje poškození prvního a částečně i třetího typu. Mechanizmus je ovlivněn dalšími vlivy, které je nutno vzít v úvahu. Je to například přesnost výroby, vůle v čepech, pružná deformace při zatížení, poloha a další. Většinu těchto okrajových podmínek lze díky získaným modelům věrně počítačově nasimulovat.

Měření bylo realizováno se zapůjčenou technikou od firmy SolidVision, s.r.o. Díky této praktické realizaci vznikl podnět k vytvoření laboratoře reverzního inženýrství na katedře Výrobních strojů a konstruování (VŠB-TU Ostrava, FS). Od poloviny roku 2011 již naše pracoviště disponuje veškerou potřebnou technikou k realizování podobných projektů.

## Poděkování

Autoři děkují firmě SolidVision, s.r.o., a zvlášť paní Ing. Věře Fišerové, Ph.D., za půjčení EXAscanu.

## Literatura

- [1] OLSZAŃSKI, M.: *Stützender und Abdeckender Strebauausbau*, 1. vydání, Glinik Sp.z o.o., Gorlice 2004, 114 s.
- [2] Propagační materiály firmy SolidVision, s.r.o.
- [3] KUBÍN, T.: *Analýza poruch mechanizované výzvaze GLINK 06/15-POzS, nasazené na Dole Paskov a návrh jejich odstranění*. (Podklady rozpracované disertační práce).

## Přehled akcí 2012

Datum	Název akce	Místo	Pořadatel/Kontakt
20. - 22. 4. 2012	<b>Chomutovské krušení – 16. setkání hornických a hutnických měst ČR</b>	Chomutov	Silvie Škubová tel.: + 420 474 637 477 <a href="mailto:s.skubova@chomutov-mesto.cz">s.skubova@chomutov-mesto.cz</a> <a href="http://www.chomutovske-kruseni.cz">http://www.chomutovske-kruseni.cz</a>
27. 4. 2012	<b>123. skok přes kůži</b>	Most	Vysoká škola báňská - TU Ostrava, Fakulta hornicko - geologická
9. 6. 2012	<b>13. hornické slavnosti v Rudolfově</b>	Rudolfov	Společnost přátel Rudolfova <a href="http://www.spolecnost.rudolfov.cz">http://www.spolecnost.rudolfov.cz</a>
22. - 24. 6. 2012	<b>5. stretnutie banských mest a obcí Slovenska</b>	Banská Štiavnica (Slovensko)	Mesto Banská Štiavnica, Združenie banických spolkov a cechov Slovenska <a href="http://www.zbsc.eu">http://www.zbsc.eu</a>
23. - 24. 6. 2012	<b>Kutnohorské stříbření - - středověké slavnosti, historický průvod, tržiště, divadlo, hry</b>	Kutná Hora	Občanské sdružení Stříbrná Kutná Hora České muzeum stříbra Kutná Hora <a href="http://www.stribreni.cz">http://www.stribreni.cz</a>
24. 6. 2012	<b>850 let Freibergu - velký hornický pochod</b>	Freiberg (Německo)	<a href="http://www.hfbhk.de/index.php/historische-paraden-gg">http://www.hfbhk.de/index.php/historische-paraden-gg</a>
7. - 8. 7. 2012	<b>23. historická hornická Prokopská pouť</b>	Příbram – Březové Hory	Spolek Prokop Příbram <a href="http://www.spolek-prokop-pribram.cz">http://www.spolek-prokop-pribram.cz</a>